

凍結膨張変位吸収溝を考慮したFEM解析による対策工効果

大阪市建設局土木部 岩田 文秀
 大林・三井JV放出東工事事務所 正 松岡 隆之
 (株) 精研 正 ○小林 進
 (株) 精研 正 松岡 啓次

1. はじめに 都市部で凍結工事を行う際、重要な構造物との近接施工となる場合が多い。凍結膨張による周辺への影響とその対策方法を選定するために地盤の変位や応力の予測が必要である。しかしながら地盤中での凍結膨張は地盤応力や凍結速度に大きく依存し、また発現方向も一様でない。本報告は、凍結膨張を扱ったFEM解析の現地盤への適応性を確認すると共に、対策工を施工しない場合の解析結果と対策工を施工した実測値を比較することにより、凍結膨張対策工としての変位吸収溝効果を確認したものである。

2. 発進防護凍結工の概要 解析を行った現場は、大阪市が進めている国道479号線諏訪共同溝設置工事のうち、φ8790mm泥土圧式シールド立坑発進時の地山の自立、止水を目的として、厚み3.0mの凍土を造成したものである。当該工事では、重要幹線道路である阪東大橋の橋脚に近接しているため、シールド機初期推進時の橋脚への影響防止と対策工施工時の地山掘削の影響が直接橋脚へ及ぼすことがないようにCJG隔壁を設置すると共に、凍土と橋脚の間に一方向高圧水噴出により変位吸収溝を設け、凍結膨張変位に相当する量の地山の抜き取りを行った。凍結膨張と対策工による影響を調べるために、凍土前面の2カ所および橋脚基礎杭横の1カ所に多段式傾斜計、層別沈下計を、また橋脚地上部に水盛り式沈下計を設置した。

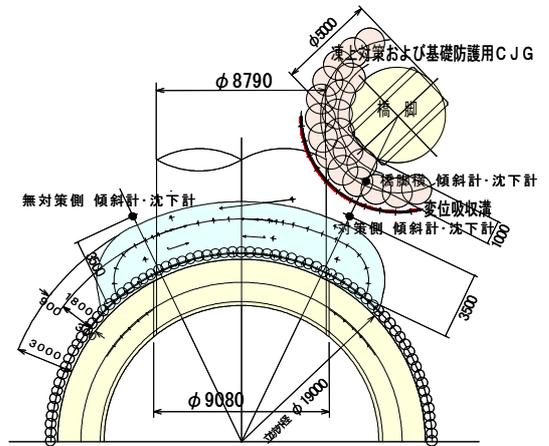


図1 凍結工法概要

3. FEM解析概要

解析は、地盤の変位について2次元弾性モデルで行い、鉛直断面、水平断面の2種類の計算を行った。

3-1 凍結させる要素 図2に示すように、別途凍土成長差分計算で求めた造成凍土領域の要素とFEM解析で用いる要素の重なりから、FEM解析で用いる凍結要素を決定する。凍結要素では、その凍結量の割合すなわち凍結完了率(=要素内凍結域体積/要素初期体積)を求め、次項で求まる凍結膨張率と凍土成長方向を組み合わせる膨張力(節点荷重)を与えた。

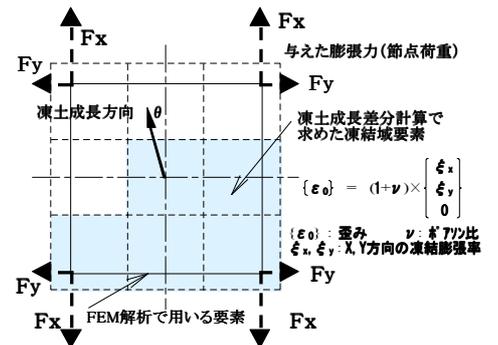


図2 凍結要素の与え方

3-2 凍結膨張率 現地盤より採取した凍結対象土(粘土、採取深度GL-30~-32m)の室内凍上試験を行った。求めた凍結膨張特性を表す式を下記に示す。

$$\xi = -3.89 + \frac{12.062}{\sigma} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{18.878}{U}} \right) \quad \xi = 4.90 + (1 + \Gamma) \cdot \xi_w$$

ここで ξ : 室内凍上試験における体積凍結膨張率 ξ_w : 室内凍上試験における吸排水率

現地盤での凍結膨張率は、計算する時間ステップ毎の凍結速度を凍土成長差分計算結果から求め、時間ステップ毎に凍結対象地盤での動水抵抗、吸排水距離および凍結速度を考慮^{1),2)}して決めた。

また、熱流方向とその直角方向の凍結膨張率³⁾は、三軸凍上試験を行い、熱流方向発現率(熱流方向凍結膨張率/体積凍結膨張率)を求め、各方向の凍結膨張率を算出した。

キーワード：凍結工法，地盤変位，現場計測，有限要素法，凍結膨張，対策工

連絡先：〒542-0066 大阪市中央区瓦屋町2-11-16 (株) 精研 Tel 06-6768-5031 Fax 06-6768-1508

3-3 変位吸収溝の要素 対策工としての変位吸収溝は、削孔した施工時期に合わせ、一部地盤が残存している場合、又は溝が連続している場合について計算した。一部残存している場合には、対策部分の要素の応力が残存率に比例した圧縮強度の値を超えると降伏し、変形係数が元の値の1/100（バイリニア弾性体）になるとした。また溝が連続した場合は、地山がない状態であるため、対策部分の要素は空洞（力の伝達がなくなる）とした。

4. 解析結果と実測値の比較 実施工に即したFEM解析結果と実測値を比較することにより、解析手法の妥当性を確認する。凍結運転100日目での、凍結膨張による変位の解析値と実測値のうち、水平変位の比較を図3に、鉛直変位の比較を図4に示す。凍結膨張変位のみが現れる無対策側での解析結果と実測値とは、鉛直変位で実測値の方が小さな値となっていたが、水平変位では解析値と実測値とはよく一致した。また対策を施工した側でも、同様に鉛直変位の実測値の方が小さな値となっていたが、発現する方向性はよく捉えていた。水平変位では解析値と実測値とはよく一致した。従って、今回用いたFEM解析手法で、凍結膨張による地盤変位をほぼ把握できることが判った。

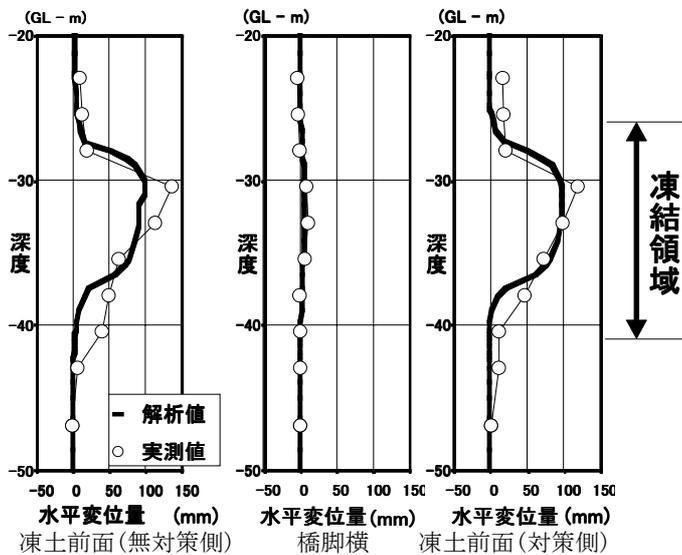


図3 解析値・実測値比較（水平変位）

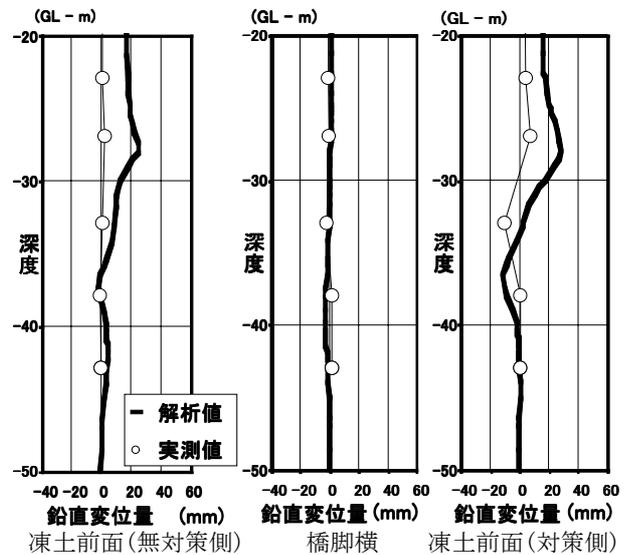


図4 解析値・実測値比較（鉛直変位）

5. 対策工の効果 対策工の効果を確認するため、施工しなかった場合の解析を行い、凍結膨張による水平および鉛直変位をどの程度軽減できたかを推定した。対策を施工しない解析値での粘土層GL-33mの水平変位量と、橋脚横での実測値の経時変化を図5に示す。凍結運転100日目での解析値では、橋脚側に65mm変位するのに対して、実測値では11mmであるので、対策工を施工したことによる水平変位の軽減量は54mmであったことが推定できる。また鉛直変位量の解析値のうち橋台基礎底面深度GL-23mでの値と、橋脚地上部での実測値の経時変化を図6に示す。解析値では、橋台底面の地山が16mm凍上するのに対して、橋脚地上部での実測値では約3mmであるので、対策工を施工したことによる橋脚部の鉛直変位の軽減量は、約13mmであったことが推定できる。

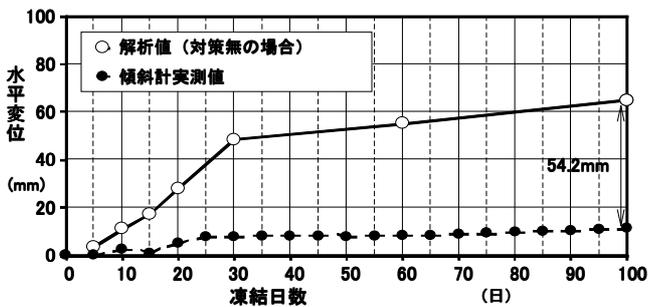


図5 対策効果（水平変位）

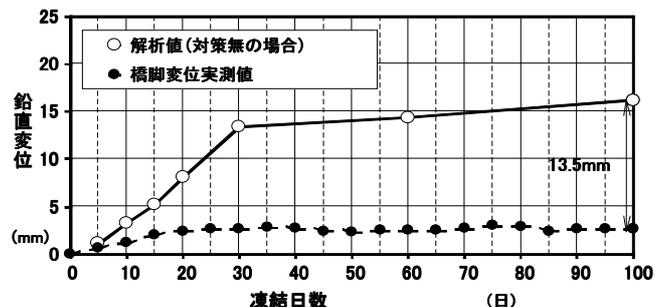


図6 対策効果（鉛直変位）

文献 1) 高志他:土の凍結膨張に及ぼす凍結速度、有効応力の影響に関する研究, 雪氷, 36, '74 2) 高志他:凍上に及ぼす未凍結土内の動水抵抗の影響(特に応力が小さい場合), 雪氷, 38, '76 3) 山本他:飽和土の三軸凍結膨張に関する実験的研究, 雪氷, 56, '94